

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

**CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT**



J1017 U.S. pro
09/775070
02/01/01



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 100 04 989.3

Anmeldetag: 4. Februar 2000

Anmelder/Inhaber: Siemens Aktiengesellschaft, München/DE

Bezeichnung: Verfahren und Vorrichtung für die Arthritis-Diagnose

IPC: A 61 B 6/02

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 21. Juni 2000
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Heiß

Beschreibung

Verfahren und Vorrichtung für die Arthritis-Diagnose

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung des Umfangs eines im Rahmen einer Arthritis-Untersuchung zu beurteilenden Finger- oder Zehgelenks eines Lebewesens, insbesondere eines proximalen Interphalangealgelenks.

10 In der Medizin stellt sich zunehmend die Aufgabe, stoffwechselbedingte krankhafte Gewebeveränderungen einfach und möglichst belastungsfrei für den Patienten detektieren und bewerten zu können. Ein Beispiel für derartige pathologische Gewebeveränderungen stellen rheumatische Gelenkveränderungen oder rheumatische Erkrankungen im Bereich des Weichgewebes dar.

15 Besonders betroffen sind dabei die Fingergelenke, vor allem die proximalen Interphalangealgelenke. Chronische Arthritis tritt häufig als Alterserscheinung auf, ist aber auch bereits bei jüngeren Menschen zu beobachten. Der rheumatoide Entzündungsprozess der Synovialis, also eine Entzündung im Bereich des Gelenks geht mit einer Schwellung im Gelenkbereich einher. Je stärker der Grad der Entzündung und damit des rheumatischen Befalls ist, desto stärker ist die Schwellung und damit umso größer ist der Umfang am Gelenk. Dieser den Gelenkzustand beschreibende Kennwert wird im Rahmen der Arthritis-Untersuchung zu diagnostischen Zwecken aufgenommen, jedoch erfolgt die Bestimmung des Umfangs manuell mittels eines flexiblen Maßbandes, das um das Gelenk gelegt wird. Der Messwert wird vom Rheumatologen oder einer medizinisch-technischen-
20 Angestellten vom Maßband abgelesen und dem jeweiligen Fingergelenk zugeordnet und in die Patientendatenbank eingegeben. Die Messungenauigkeit beträgt dabei wenigstens $+- 0,5$ mm, ist erfahrengemäß aber noch größer, was damit zusammenhängt, dass das Maßband unterschiedlich stark angezogen bzw. umgelegt werden kann, da das Gewebe und die Haut als Weichteile komprimierbar sind. Verlässliche Messwerte, die insbesondere
25
30
35

im Rahmen einer Verlaufsdiagnose verwendet werden können, werden dabei nicht erhalten.

Der Erfindung liegt das Problem zugrunde, ein Verfahren anzugeben, mittels welchem der einen wichtigen Kennwert zur 5 Arthritisdiagnose darstellenden Umfang eines Fingergelenks hinreichend exakt messbar ist.

Zur Lösung dieses Problems ist bei einem Verfahren der ein- 10 gangs genannten Art erfindungsgemäß vorgesehen, dass das Ge- lenk mittels einer Lichtquelle bestrahlt und wenigstens ein zweidimensionales Projektionsbild mittels einer Kameraein- richtung aufgenommen wird, wobei zu dem Projektionsbild der Durchmesser des Gelenks mittels eines automatischen Kantendetektionsverfahrens bestimmt und anhand des Durchmessers der 15 Umfang berechnet wird.

Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht das berührungslose Messen des Umfangs, welcher mittels des automatischen, sei- 20 tens einer Rechnereinrichtung durchzuführenden Kantendetektionsverfahrens sehr genau bestimmbar ist. Gemäß einer zweckmäßigen Weiterbildung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass das Gelenk mittels der um das Gelenk längs einer Kreisbahn herum bewegbaren Lichtquelle an verschiedenen um eine be- 25 stimmte Winkeldifferenz beabstandeten Winkelpositionen be- strahlt und zu jeder Bestrahlungsposition das zweidimensionale Projektionsbild mittels der Kameraeinrichtung aufgenommen wird, und dass zu jedem Projektionsbild der Durchmesser (d_n) des Gelenks mittels des automatischen Kantendetektionsverfah- 30 rens bestimmt und anhand der Durchmesser der Umfang gemäß der Formel

$$U = \sum_{n=1}^{n=x} d_n \text{arc} \Delta \varphi$$

35 mit U = Umfang
 n = Anzahl der Projektionsbilder

d_n = Gelenkdurchmesser im jeweiligen Projektionsbild
 $\Delta\phi$ = Winkeldifferenz zwischen zwei Winkelpositionen

ermittelt wird.

5

Bei dieser Verfahrensausgestaltung wird der Umfang berührungslos durch Aufnahme einer Vielzahl von zweidimensionalen Projektionsbildern des von hinten beleuchteten Gelenks bestimmt. Die aufgenommenen Projektionsbilder, auf denen das Gelenk quasi als Schatten zu sehen ist, werden mittels eines automatischen Kantendetektionsverfahrens ausgewertet und der Gelenkdurchmesser der jeweiligen Projektion bestimmt. Im Rahmen des Kantenermittlungsverfahrens sollte der Durchmesser des Gelenks in der jeweiligen Projektionsaufnahme stets am selben Ort bezogen auf die Fingerlängsachse bestimmt werden, so dass sichergestellt ist, dass der sich rechnerisch ergebende Umfang derjenige zu einem bestimmten Gelenkpunkt ist. Im Rahmen einer Verlaufskontrolle sollte sichergestellt werden, dass bei nachfolgenden Umfangsermittlungen stets der Umfang am selben Ort bestimmt wird. Kantendetektionsverfahren sind hinreichend bekannt, mittels ihnen ist es möglich, äußerst genau den Übergang der Haut zur Luft festzustellen. Die Projektionsbilder werden an unterschiedlichen Winkelpositionen aufgenommen, wozu die Lichtquelle längs der Kreisbahn um das Gelenk verfahren wird. Die Ermittlung des Umfangs erfolgt aus der Summe der differentiellen Bogenmaße gemäß der angegebenen Gleichung. Auf diese Weise kann also mit besonderem Vorteil der Umfang des Gelenks äußerst genau bestimmt werden. Anhand der Änderung des Umfangs im Laufe der Zeit kann somit aussagekräftig der Grad der Entzündung diagnostiziert werden. Nimmt der Umfang zu, hat auch der Entzündungsgrad zugenommen, schwächt das Gelenk hingegen ab, deutet dies auf eine Verbesserung bzw. einen Therapieerfolg hin.

35 Die Projektionsbilder sollten über eine Winkelstrecke von wenigstens 180° aufgenommen werden, um sicherzustellen, dass das Gelenk vollständig abgetastet wurde. Die Winkeldifferenz

$\Delta\phi$ sollte weniger als 5° , insbesondere weniger als 3° betragen, bevorzugt wird eine Winkeldifferenz von 2° gewählt. Dies stellt eine hinreichend hohe Anzahl an aufgenommenen Projektionsbildern sicher. Je größer die Anzahl, desto exakter kann der Umfang bestimmt werden. Bei einer schrittweisen Abtastung mit einer Winkeldifferenz von 2° werden insgesamt 90 Projektionsbilder aufgenommen, die eine hinreichend genaue Bestimmung zulassen.

- 5 10 Dem diagnostizierenden Arzt wird mit dem mit dem erfindungsgemäßen Verfahren äußerst exakt bestimmbaren Umfang ein Kennwert gegeben, der für die nachfolgende Diagnose und Therapiekontrolle äußerst dienlich ist.
- 15 20 Neben dem Verfahren zur Ermittlung des Kennwerts betrifft die Erfindung ferner ein Verfahren zur Ermittlung eines oder mehrerer für eine nachfolgende Arthritis-Diagnose relevanter Informationswerte eines Fingergelenks eines Lebewesens, insbesondere eines proximalen Interphalangealgelenks. Dieses Verfahren kombiniert zum einen die vorbeschriebene Ermittlung des einen ersten Kennwert bildenden Umfangs des Gelenks nach dem oben beschriebenen Verfahren mit der Durchführung einer diaphanoskopischen Untersuchung des Gelenks, bei welcher das Gelenk mit Licht einer Wellenlänge im Bereich des optischen Gewebefensters durchstrahlt und eine Streulichtverteilung in Form einer Verwaschungsfunktion aufgenommen wird, wonach ein oder mehrere für die Eigenschaften der Verwaschungsfunktion charakteristische Kennwerte basierend auf dem Verlauf der Verwaschungsfunktion rechnerisch ermittelt werden. Anschließend werden die ermittelten Umfangs- und Funktionskennwerte rechnerisch miteinander verknüpft, um einen oder mehrere auszgebende Informationswerte zu ermitteln, anhand welcher der Arzt wichtige Hinweise betreffend den Gelenkzustand erhält, die für die Diagnose und Therapie dienlich sind. Ein derartiges diaphanoskopisches Untersuchungsverfahren ist in WO 99/04683 im Detail beschrieben. Auf den gesamten Offenbarungsgehalt in WO 99/04683 wird hiermit ausführlich Bezug ge-

nommen, die Offenbarung wird in die vorliegende Anmeldung eingebunden.

Anhand der diaphanoskopischen Untersuchung werden dem Arzt
5 eine Reihe von Kennwerten zur Verfügung gestellt, die eine
Beschreibung des Gewebezustands zulassen. Diese Kennwerte
werden aus der Streulichtverteilung ermittelt. Zu diesem
Zweck wird das Gelenk durchstrahlt und mittels einer Kamera-
10 einrichtung das an der gegenüberliegenden Seite austretende,
transmittierte Streulicht aufgenommen und ausgewertet. Die
Streulichtverteilung ist abhängig vom Gelenkzustand, der sich
mit zunehmendem Entzündungsprozess dahingehend verschlech-
tert, dass das Transmissionsverhalten aufgrund einer Eintrü-
15bung infolge der Entzündungsüberwucherung schlechter wird,
was in einer sich ändernden Streulichtverteilung resultiert.
Diese Änderung hat wiederum ihren Niederschlag in den erre-
chenbaren Kennwerten. Anhand dieser wird dem Rheumatologen
eine wichtige Information gegeben. Erfindungsgemäß ist nun
zusätzlich vorgesehen, neben dieser diaphanoskopischen Unter-
20 suchung auch den ebenfalls einen wichtigen Kennwert bildenden
Umfang zu ermitteln und die aus den unterschiedlichen Verfah-
ren erhaltenen Kennwerte miteinander rechnerisch zur Ermitt-
lung der Informationswerte zu verknüpfen, wobei zur rechneri-
schen Verknüpfung und zur Ermittlung der Informationswerte
25 bevorzugt ein neuronales Netzmodell verwendet wird. Neben ei-
nem neuronalen Netzmodell sind selbstverständlich auch andere
Netze, Modelle oder Logiken einsetzbar, die die rechnerische
Verknüpfung und Informationswertermittlung ermöglichen. Die
auf die verschiedenen Kennwerte gestützten Informationswerte
30 sind in ihrem Aussagegehalt noch gewichtiger und ermöglichen
dem Arzt eine noch bessere Diagnose.

Die Erfindung betrifft des Weiteren eine Vorrichtung, geeig-
net zur Durchführung eines oder beider der vorgenannten Ver-
fahren, wobei die Vorrichtung umfasst:

- eine Finger- oder Zehenauflage, an welcher der Finger oder Zeh mit dem zu untersuchenden Gelenk fixierbar ist,

- wenigstens eine Lichtquelle, mittels welcher das Gelenk bestrahlbar ist,
- eine Kameraeinrichtung zum Aufnehmen von Bestrahlungsbildern,

5 - sowie eine Recheneinrichtung zum Verarbeiten und Auswerten der ihr gegebenen Strahlungsbilder, wobei nach einer zweckmäßigen Weiterbildung des Erfindungsdankens die Lichtquelle(n) und die an der anderen Gelenkseite liegende Kameraeinrichtung längs einer Kreisbahn um das Gelenk bewegbar sind.

10

Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist zur Durchführung entweder des Verfahrens zur Umfangsbestimmung oder aber zur Durchführung des sowohl eine Umfangsbestimmung als auch eine diaphanoskopische Untersuchung erfordernden Verfahren ausgebildet, es muss lediglich die Recheneinrichtung entsprechend ausgelegt sein. Im einen Fall zur Berechnung des Umfangs, im anderen Fall zusätzlich zur Auswertung der Streulichtverteilungen. Sowohl die zweidimensionalen Projektionsbilder zur Umfangsermittlung wie auch die Streulichtverteilungen werden mittels der Kameraeinrichtung aufgenommen, die zusammen mit der Lichtquelle bewegbar ist und an der gegenüberliegenden, also der Lichtquelle abgewandten Finger- oder Gelenkseite angeordnet ist. Zweckmäßigerweise wird für die Aufnahme der zweidimensionalen Projektionsbilder eine erste Lichtquelle zum Bestrahlen des Gelenks verwendet, bevorzugt eine Planlichtquelle, da das Gelenk lediglich von hinten ausgeleuchtet werden muss, damit das Projektionsbild aufgenommen werden kann. Zur Durchführung der diaphanoskopischen Untersuchung und damit zur Aufnahme der Streulichtverteilungen wird bevorzugt eine zweite Lichtquelle zum punktuellen Bestrahlen des Gelenks verwendet, bevorzugt eine Laserlichtquelle. Diese ist bevorzugt nahe an der ersten Lichtquelle angeordnet und mit dieser beweglich, es ist aber auch denkbar, dass diese zweite Lichtquelle unbeweglich angeordnet ist, da eine Durchstrahlung des Gelenks stets von der selben Gelenkseite aus erfolgt. Bei der einfachsten Ausführung ist die Lichtquelle,

15

20

25

30

35

die im Rahmen der Umfangsmessung benötigt wird, wie auch die Kammereinrichtung feststehend. Hier wird nur in einer Position ein Projektionsbild aufgenommen, anhand des einen Durchmessers wird der Umfang berechnet. Diese sehr einfache Ausführung ist insbesondere für den Heimbereich zur schnellen Kontrolle durch den Patienten selbst möglich. Eine diaphanoskopische Untersuchung ist hier nicht unbedingt erforderlich.

10 Gemäß einer weiteren Erfindungsausgestaltung kann die Kameraeinrichtung der (ersten (und zweiten)) Lichtquelle gegenüberliegend angeordnet sein. In diesem Fall tritt das Licht - gleich ob Projektionsbild- oder Streulichtaufnahme - direkt in die Kameraeinrichtung ein und wird von dieser an die nachgeschaltete Recheneinrichtung gegeben. Alternativ dazu ist es auch möglich, dass ein der Lichtquelle gegenüberliegend angeordneter, mit dieser bewegbarer Umlenkspiegel vorgesehen ist, der einfallenden Strahlung um einen 90°-Winkel auf die benachbart angeordnete Kameraeinrichtung, die ebenfalls mit bewegt wird, lenkt. Diese Ausführungsform ist insbesondere aus baulicher Sicht von Vorteil, da hierdurch eine Behinderung einer Drehbewegung durch die bei gegenüberliegender Montage relativ weit abstehende Kameraeinrichtung vermieden wird, die ansonsten an den benachbarten Fingern anschlagen kann und eine erforderliche Drehbewegung in solchen Fällen nicht immer gewährleistet ist.

25 Die Lichtquelle (oder beide Lichtquellen), die im Inneren einer im Wesentlichen hohlzylindrischen Halterung angeordnet sind, ist über einen Antrieb bewegbar. Die Lichtquelle(n), die Kameraeinrichtung und ggfs. der Umlenkspiegel sind an der Innenwandung der an einer Seite offenen, an der gegenüberliegenden bevorzugt geschlossenen Halterung vorgesehen. Die Halterung ist lediglich an einer Seite offen, um ein Einführen des Fingers zu ermöglichen. Die im Inneren gegebene Dunkelheit ermöglicht die Aufnahme hinreichend guter Strahlungsbilder, die durch parasitäre Strahlung nicht beeinträchtigt

sind. Der Antrieb sollte ein Schrittmotor sein, der über eine Abtriebschnecke an einem an der Halterung angeordneten Schneckenrad angreift, wobei die Halterung mittels des Antriebs schrittweise in vorbestimmte Winkelpositionen, in welcher sie 5 arretiert wird und verharrt, drehbar ist. Hierdurch wird auf einfache Weise ein schrittweises Drehen der Halterung und damit der Aufnahmekomponenten ermöglicht, wobei die Steuerung des Halterungsantriebs derart ausgelegt sein soll, dass die Winkeldifferenzen frei wählbar sind und der Antrieb die Halterung 10 entsprechend verdreht.

Die erste Lichtquelle kann während der Bewegung der Halterung um das Gelenk kontinuierlich Licht emittieren, wobei seitens der Kameraeinrichtung nur an den ausgewählten Winkelpositionen 15 Bilder aufgenommen werden. Alternativ dazu kann auch ein getakteter und mit dem Stillstand der Halterung in den Winkelpositionen korrelierter Lichtquellenbetrieb vorgesehen sein. Die Aufnahme der Projektionsbilder und die der Streulichtverteilungen kann nacheinander erfolgen, alternativ dazu 20 ist es auch möglich, mit der Aufnahme der Projektionsbilder zu beginnen und bei Erreichen der Winkelposition, bei welcher die Streulichtverteilungen aufgenommen werden (dies ist in der Regel die Position, in welcher die zweite Lichtquelle senkrecht unter dem Gelenk steht) die Streulichtverteilungen aufzunehmen, wonach die Aufnahme der Projektionsbilder fortgesetzt wird. 25

Da es mittels der erfindungsgemäßen Vorrichtung möglich sein soll, die Finger- oder Zehgelenke aller Finger/Zehen eines 30 Lebewesens vermessen zu können, muss dafür Sorge getragen werden, dass bei unterschiedlich langen Fingern das zu untersuchende Gelenk stets in den Bildaufnahmebereich gebracht werden kann. Zu diesem Zweck ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass die im Inneren der Halterung aufgenommene Finger- oder 35 Zehenauflage in Richtung ihrer Längsachse bewegbar ist, wozu bevorzugt ebenfalls ein Schrittmotor verwendet wird. Diese Erfindungsausgestaltung ermöglicht es, einen beliebigen Fin-

ger einer Hand auf der Finger- oder Zehenauflage zu fixieren und ihn anschließend exakt zu positionieren. Die Verwendung einer beweglichen Auflage hat ferner den Vorteil, dass mit einer einzelnen Laserlichtquelle im Rahmen der Durchführung 5 der diaphanoskopischen Untersuchung gearbeitet werden kann. Im Rahmen dieser Untersuchung wird, wie in WO 99/04683 ausführlich beschrieben, das Fingergelenk mit dem Laserlicht an einer Vielzahl in einer Richtung senkrecht zum Gelenkspalt einer liegender Orte bestrahlt, d.h. es werden mehrere Streulicht- 10 15 Verteilungen aufgenommen und anschließend ausgewertet. Die Möglichkeit, die Finger- oder Zehenauflage zu bewegen lässt es nun zu, diese schrittweise an der Laserdiode vorbei zu bewegen und damit das Gelenk über die Laserdiode zu fahren, um es abzuscannen.

Ein weiterer Vorteil dieser Ausgestaltung liegt darin, dass auf gleichermaßen einfache Weise der optimale Einstrahlort für die diaphanoskopische Untersuchung aufgefunden werden kann. Die oben genannten mehreren Bestrahlungspunkte sind um 20 einen optimalen Einstrahlort herum platziert. Die Bestimmung des optimalen Einstrahlortes erfolgt gemäß dem Verfahren wie in WO 99/04684 beschrieben, auf welche ebenfalls ausdrücklich Bezug genommen wird und deren Offenbarungsgehalt ebenfalls in die vorliegende Anmeldung eingebunden wird. Auch zum Auffinden dieses Ortes ist es erforderlich, das Gelenk an mehreren 25 Punkten zu durchstrahlen. Ist die Auflage beweglich, kann auch hierzu das Gelenk über die feststehende Laserdiode bewegt werden.

30 Zweckmäßigerweise ist eine gemeinsame Steuereinrichtung zum Steuern des Betriebs der Lichtquelle(n) und der Bewegung der Halterung sowie der Finger- oder Zehenauflage vorgesehen.

35 Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus dem im folgenden beschriebenen Ausführungsbeispiel sowie anhand der Zeichnungen. Dabei zeigen:

Fig. 1 eine Prinzipskizze einer erfindungsgemäßen Vorrichtung,

5 Fig. 2 eine Prinzipskizze zur Darstellung eines Querschnitts eines Fingergelenks zur Verdeutlichung des Berechnungsmodus des Umfangs, und

10 Fig. 3 eine Seiten- und Querschnittsansicht eines Kalibrierstabs zum Kalibrieren der Vorrichtung gemäß Fig. 1.

Fig. 1 zeigt in Form einer Prinzipskizze eine erfindungsgemäße Vorrichtung 1 zur Durchführung beider oben genannter Verfahren. Die Vorrichtung 1 umfasst eine Fingerauflage 2, auf welcher ein Finger 3, dessen Gelenk 4 (ein proximales Interphalangealgelenk) untersucht werden soll, mittels nicht näher gezeigter Fixiermittel befestigbar ist. Die Auflage 2, die hier im Teilschnitt dargestellt ist, weist eine entsprechende Fingermulde 5 auf, in welcher der Finger ruht. Die Fingerspitze ist in einer Eintiefung 6 aufgenommen, die verhindert, dass der Finger versehentlich angehoben wird. Die Fingerauflage 2 ist über einen Antrieb 7 in Richtung des Doppelpfeils A hin- und herbeweglich, um das Gelenk 4 bezüglich der Lichtquellen 8, 9 zu bewegen und justieren. Die Lichtquellen 8, 9 dienen zum Bestrahlen des Gelenks 4. Um dies zu ermöglichen ist an der Fingerauflage 2 eine Ausnehmung 10 vorgesehen, durch welche hindurchgestrahlt wird. Die Ausnehmung ist z.B. 30 mm lang.

30 Die Fingerauflage 2 ragt in eine hohlzylindrische Halterung 11 ein, die frontseitig eine Einführöffnung 12 aufweist und rückseitig eine schließende Wand 13 besitzt. Hierdurch ist sichergestellt, dass es im Inneren der Halterung 11 hinreichend dunkel ist, damit die aufzunehmenden Strahlungsbilder nicht durch einfallendes Licht verfälscht werden.

Die beiden Lichtquellen 8, 9 sind an der Innenwandung der Halterung 11 angeordnet. An der gegenüberliegenden Wandseite ist ein Umlenkspiegel 14 angeordnet, mittels dem vom Finger-
5 gelenk 4 her auftreffende Strahlung auf eine Kameraeinrich-
tung 15, bei der es sich um ein Miniatur-Kameramodul mit ei-
nem CCD-Sensor 16 handelt, gelenkt wird, siehe Pfeile B. Der
CCD-Sensor kann eine Auflösung von 640 x 480 Pixel (= 350.000
Pixel) aufweisen. Die Kameraeinrichtung 15 selbst sollte auf-
grund ihrer Integration im Inneren der Halterung 11 möglichst
10 klein sein, damit die Vorrichtung insgesamt klein ausgelegt
werden kann. Die vom CCD-Sensor 16 ausgelesenen Bildsignale
werden über eine Leitungsverbindung 17 an eine Recheneinrich-
tung 18 gegeben, welcher eine Anzeigeeinrichtung 19 in Form
eines Monitors nachgeschalten ist.

15

Die Lichtquellen 8, 9, der Umlenkspiegel 14 und die Kamera-
einrichtung 15 sind fest an der Innenwand der Halterung 11
angeordnet. Die Halterung 11 selbst ist über ein an ihr ange-
ordnetes Schneckenrad 20 (bei diesem kann es sich auch um ein
20 Zahnrad oder dergleichen handeln) und einen an diesem angrei-
fenden Schrittmotor 21 um die Drehachse X bewegbar, siehe den
Pfeil C. Wird die Halterung 11 gedreht, werden die Lichtquel-
len 8, 9, der Umlenkspiegel 14 und die Kameraeinrichtung 15
um das Fingergelenk 4 herumbewegt. Hierdurch ist es möglich,
25 das Fingergelenk 4 mit Licht der ersten Lichtquelle 8, bei
der es sich um eine Planlichtquelle handelt, von mehreren
Seiten her zu bestrahlen und unterschiedliche Projektionsbil-
der mit der Kameraeinrichtung 15 aufzunehmen. Der Betrieb der
Lichtquellen 8, 9 sowie der Schrittmotoren 7 und 21 erfolgt
30 über eine zentrale Steuerungseinrichtung 22.

Mittels der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind zum einen
zweidimensionale Projektionsbildaufnahmen des Gelenks 4 mög-
lich. Zu diesem Zweck wird die Halterung in eine Ausgangspo-
sition gefahren, beispielsweise in die in Fig. 1 gezeigte,
35 bei welcher die Lichtquelle 8 senkrecht unter dem Gelenk 4
steht. Mittels des Schrittmotors 21 wird die Halterung 11 nun

schrittweise um 180° gedreht. An jeweils 2° voneinander beabstandeten Winkelpositionen wird jeweils eine Projektionsbildaufnahme mittels der Kameraeinrichtung 15 aufgenommen. Zu diesem Zweck wird die Lichtquelle 8 in dieser Position eingeschalten, alternativ dazu kann sie auch während der gesamten 180° -Rotation betrieben werden. Die geometrische zweidimensionale Projektion des Gelenks 4 wird über den Umlenkspiegel 14 auf die Kameraeinrichtung 15 gelenkt, die das Bild im CCD-Sensor aufnimmt, welches anschließend in die Recheneinrichtung 18 ausgelesen wird. Bei einer Winkeldifferenz zwischen den Aufnahmepositionen von $\Delta\varphi = 2^\circ$ ergeben sich bei einem Rotationsscann von $\varphi = 180^\circ$ insgesamt 90 Projektionsbilder, auf denen jeweils das Fingergelenk in etwas anderer Position dargestellt ist.

15

Die Recheneinrichtung ist nun imstande, unter Verwendung eines Kantendetektionsverfahrens den Durchmesser des in der jeweiligen Projektion gezeigten Fingergelenks zu bestimmen, so dass insgesamt bei einer Anzahl n an Projektionsbildern eine entsprechende Anzahl an Durchmessern d_n gegeben ist, die jeweils unterschiedlichen Winkelpositionen zugeordnet sind. Anhand dieser ermittelten Durchmesserwerte kann seitens der Recheneinrichtung nun der exakte Umfang des Fingergelenks 4 anhand der Formel

25

$$U = \sum_{n=1}^{n=x} d_n \text{arc} \Delta\varphi$$

erfasst werden. Fig. 2 zeigt anschaulich anhand zweier Durchmesser d_1 und d_2 , wie sich der Durchmesser bei sich ändernder Aufnahmeposition ändern und wie sich obige Formel ergibt. Der Umfang des Fingergelenks ist umso größer, je fortgeschritten der Grad der Entzündung ist. Da die Vorrichtung den Durchmesser berührungslos ermittelt, ist zum einen eine äußerst exakte Umfangsbestimmung möglich, zum anderen können im Rahmen von Verlaufskontrollen vergleichbare Werte aufgenommen werden, um die Entwicklung der Entzündung zu beobachten. Der

Umfang ist ein hilfreicher Kennwert für die Diagnose des Rheumatologen.

Neben diesem Verfahren zur Umfangsermittlung werden mit der Vorrichtung 1 auch mehrere Streulichtverteilungen aufgenommen und ausgewertet, um anhand dieser weitere für die nachfolgende Diagnose wichtige Kennwerte zu ermitteln. Im Rahmen der diaphanoskopischen Untersuchung wird das Fingergelenk mit Licht der Lichtquelle 9 durchstrahlt. Bei dieser handelt es sich im gezeigten Ausführungsbeispiel um eine einzelne Laserdiode, die schmalbandiges Licht mit einer Wellenlänge im Bereich des optischen Gewebefensters emittiert. Dieses durchdringt das Gelenk 4, das im Bereich des Gelenkspalts sowie im Knorpelbereich und im Bereich der Gelenkflüssigkeit transparent ist, und tritt als Streulicht an der gegenüberliegenden Gelenkseite wieder aus. Dieses Streulicht wird über den Umlenkspiegel 14 in die Kameraeinrichtung 15 gelenkt, wo die Streulichtverteilung aufgenommen und nachfolgend an die Recheneinrichtung 18 ausgelesen wird. Zur Durchführung dieser diaphanoskopischen Untersuchung ist das Fingergelenk 4 zunächst derart über der Lichtquelle 9 so zu positionieren, dass der optimale Einstrahlort am Gelenk exakt über der Lichtquelle 9 liegt. Um den optimalen Einstrahlort zu ermitteln wird das Gelenk zunächst grob überhalb der Lichtquelle 9 mit dem Bereich, in dem der optimale Untersuchungsort vermutet wird, positioniert, wonach es sequenziell an verschiedenen nebeneinander liegenden Punkten durchleuchtet wird, um erste Streulichtverteilungen in Form ortsbezogener Verwachungsfunktionen, insbesondere Punktverwaschungsfunktionen aufzunehmen, die anschließend seitens der Recheneinrichtung 18 zur Ermittlung des optimalen Untersuchungsortes ausgewertet werden. Die genaue Vorgehensweise zur Ermittlung dieses optimalen Untersuchungsortes ist in WO 99/04684 beschrieben. Zur sequenziellen Beleuchtung wird die Fingerauflage 2 schrittweise bezüglich der Lichtquelle 9 verschoben, was mittels des Schrittmotors 7 erfolgt.

Ist der optimale Untersuchungsort rechnerisch ermittelt worden, wird die Fingerauflage 2 entsprechend positioniert, so dass sich dieser optimale Untersuchungsort exakt über der Lichtquelle 9 befindet. Die Recheneinrichtung 18 gibt die 5 entsprechenden Informationen an die Steuerungseinrichtung 22, die den Schrittmotor 7 entsprechend steuert. Es ist darauf hinzuweisen, dass diese Steuerungseinrichtung 22 selbstverständlich auch in die Recheneinrichtung 18 integriert sein kann, d.h. die Recheneinrichtung 18 steuert die genannten 10 Komponenten unmittelbar.

Nach erfolgter Positionierung erfolgt die eigentliche diaphanoscopische Untersuchung, im Rahmen welcher mehrere Streulichtverteilungsbilder an unterschiedliche Positionen um den 15 optimal Untersuchungsort herum aufgenommen werden. Zu diesem Zweck wird die Fingerauflage 2 wiederum schrittweise verschoben, die einzelnen Bestrahlungsorte sind beispielsweise jeweils 200µm voneinander beabstandet und symmetrisch zur Mitte des Gelenkspalts. Die Lichtquelle 9 wird an jedem Ort kurz- 20 zeitig betrieben, um die Streulichtverteilung aufzunehmen. Die einzelnen Streulichtverteilungen werden seitens der Recheneinheit 18 zur Ermittlung eines oder mehrerer verteilungsbezogener Kennwerte ausgewertet. Ein Bewertungsverfahren ist in WO 99/04683 beschrieben.

25 Zum einen ist es möglich, die einzelnen Kennwerte selbst dem Arzt an der Anzeigeeinrichtung 19 zu visualisieren. Zweckmäßig ist es aber, die sich aus der Umfangsermittlung und der Streulichtverteilungsanalyse ergebenden Kennwerte miteinander 30 zu verknüpfen, da sie alle aufgrund ihrer Abhängigkeit vom Entzündungsgrad eine diesen indirekt beschreibende Information beinhalten. Werden diese den Gelenkzustand beschreibenden Kennwerte miteinander verknüpft, können noch aussagekräftigere Informationswerte ermittelt werden. Zu diesem Zweck werden 35 die Kennwerte seitens der Rechnereinrichtung 18 in einem neuronalen Netz verarbeitet.

Fig. 3 zeigt schließlich einen Kalibrierstab 23, der nicht reflektierend ist und in seinem Mittelbereich eine kegelstumpfförmige Verdickung aufweist, die beispielsweise 20 mm im Durchmesser ist. Zu Kalibrierungszwecken wird diese Verdickung in den Beleuchtungsbereich gebracht und die Kalibriermessungen durchgeführt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung des Umfangs eines im Rahmen einer Arthritis-Untersuchung zu beurteilenden Finger- oder Zehegelenks eines Lebewesens, insbesondere eines proximalen Interphalangealgelenks, dadurch gekennzeichnet, dass das Gelenk mittels einer Lichtquelle bestrahlt und wenigstens ein zweidimensionales Projektionsbild mittels einer Kameraeinrichtung aufgenommen wird, wobei zu dem Projektionsbild der Durchmesser des Gelenks mittels eines automatischen Kantendetektionsverfahrens bestimmt und anhand des Durchmessers der Umfang berechnet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Gelenk mittels der um das Gelenk längs einer Kreisbahn herum bewegbaren Lichtquelle an verschiedenen um eine bestimmte Winkeldifferenz beabstandeten Winkelpositionen bestrahlt und zu jeder Bestrahlungsposition das zweidimensionale Projektionsbild mittels der Kameraeinrichtung aufgenommen wird, und dass zu jedem Projektionsbild der Durchmesser (d_n) des Gelenks mittels des automatischen Kantendetektionsverfahrens bestimmt und anhand der Durchmesser der Umfang gemäß der Formel

$$U = \sum_{n=1}^{n=x} d_n \text{arc} \Delta\varphi$$

mit U = Umfang
 n = Anzahl der Projektionsbilder
 d_n = Gelenkdurchmesser im jeweiligen Projektionsbild
 $\Delta\varphi$ = Winkeldifferenz zwischen zwei Winkelpositionen
30 ermittelt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Projektionsbilder über eine Winkelstrecke von wenigstens 180° aufgenommen werden.

5 4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Winkeldifferenz $\Delta\phi$ weniger als 5° , insbesondere weniger als 3° beträgt.

10 5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Winkeldifferenz 2° beträgt.

15 6. Verfahren zur Ermittlung eines oder mehrerer für eine nachfolgende Arthritis-Diagnose relevanter Informationswerte eines Finger- oder Zehengelenks eines Lebewesens, insbesondere eines proximalen Interphalangealgelenks, gekennzeichnet durch
- Ermittlung des einen ersten Kennwert bildenden Umfangs des Gelenks nach einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis
20 5,
- Durchführung einer diaphanoskopischen Untersuchung des Gelenks, bei welcher das Gelenk mit Licht einer Wellenlänge im Bereich des optischen Gewebefensters durchstrahlt und eine Streulichtverteilung in Form einer Verwaschungsfunktion aufgenommen wird, wonach ein oder mehrere weitere für die Eigenschaften der Verwaschungsfunktion charakteristische Kennwerte basierend auf dem Verlauf der Verwaschungsfunktion rechnerisch ermittelt werden,
- rechnerische Verknüpfung des ersten und des oder der weiteren Kennwerte zur Ermittlung des oder der auszugebenden Informationswerte.

35 7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass zur rechnerischen Verknüpfung und zur Ermittlung des oder der Informationswerte ein neuronales Netzmodell verwendet wird.

8. Vorrichtung geeignet zur Durchführung der Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 5 und/oder 6 und 7, umfassend

- eine Fingerauflage (2), an welcher der Finger (3) mit dem zu untersuchenden Gelenk (4) fixierbar ist,

5 - wenigstens eine Lichtquelle (8, 9), mittels welcher das Gelenk (4) bestrahlbar ist,

- eine Kameraeinrichtung (15) zum Aufnehmen von Bestrahlungsbildern,

- sowie eine Recheneinrichtung (18) zum Verarbeiten und Aus-

10 werten der ihr gegebenen Strahlungsbilder.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, d a d u r c h g e -
k e n n z e i c h n e t , dass eine erste Lichtquelle (8)

zum Bestrahlen des Gelenks (4) zur Durchführung des Verfah-
15 rens zur Ermittlung des Umfangs des Gelenks (4) vorgesehen

ist, und dass eine zweite Lichtquelle (9) zum Bestrahlen des Gelenks (4) zur Aufnahme der Streulichtverteilungen vorgese-
hen ist.

20 10. Vorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t , dass die Lichtquelle(n) (8,
9) und die an der anderen Gelenkseite liegende Kameraeinrich-
tung längs einer Kreisbahn (C) um das Gelenk (4) bewegbar
sind.

25 11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 10, d a -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Ka-
maraeinrichtung (15) der oder den Lichtquelle(n) (8, 9) gege-
überliegend angeordnet ist.

30 12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 10, d a -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass ein der
oder den Lichtquelle(n) (8, 9) gegenüberliegend angeordneter,
mit diesen bewegbarer Umlenkspiegel (14) vorgesehen ist, der
35 einfallende Strahlung um einen 90°-Winkel auf die benachbart
angeordnete Kameraeinrichtung (15) lenkt.

13. Vorrichtung nach Anspruch einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtquelle(n) (8, 9) und die Kameraeinrichtung (15) und gegebenenfalls der Umlenkspiegel (14) im Inneren einer im Wesentlichen hohlzylindrischen Halterung (11) angeordnet sind, die über einen Antrieb (20, 21) bewegbar ist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Antrieb ein Schrittmotor (21) ist, der über eine Abtriebschnecke an einem an der Halterung (11) angeordneten Schnecken- oder Zahnradrad (20) angreift.

15. Vorrichtung nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Halterung (11) mittels des Antriebs (20, 21) schrittweise in vorbestimmte Winkelpositionen, in welchen sie vorzugsweise verharrt drehbar ist.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Lichtquelle (8) während der Bewegung um das Gelenk (4) kontinuierlich oder getaktet und mit dem Stillstand in den Winkelpositionen korreliert Licht emittiert.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die im Inneren der Halterung (11) aufgenommene Fingerauflage (2) in Richtung ihrer Längsachse (A) bewegbar ist.

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass eine gemeinsame Steuerungseinrichtung (22) zum Steuern der Betriebs der Lichtquelle(n) (8, 9) und der Bewegung der Halterung (11) sowie des Fingerauflage (2) vorgesehen ist.

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 18, durch gekennzeichnet, dass die erste Lichtquelle (8) eine Planlichtquelle und die zweite Lichtquelle (9) eine Laserlichtquelle ist.

5

20. Vorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Laserlichtquelle (9) eine einzelne Laserdiode oder ein mehrere Laserdioden aufweisender monolithischer Laserdiodenbarren ist.

10

21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 20, durch gekennzeichnet, dass die Recheneinrichtung (18) zur Bestimmung des einen Kennwert bildenden Umfangs des Gelenks und zur Ermittlung eines oder mehrerer Kennwerte der Verwaschungsfunktion der Streulichtverteilung sowie zur Verknüpfung der Kennwerte zwecks Ermittlung eines oder mehrerer Informationswerte ausgebildet ist.

15

Zusammenfassung

Verfahren und Vorrichtung für die Arthritis-Diagnose

5 Verfahren zur Ermittlung des Umfangs eines im Rahmen einer Arthritis-Untersuchung zu beurteilenden Finger- oder Zehengelenks eines Lebewesens, insbesondere eines proximalen Interphalangealgelenks, wobei das Gelenk mittels einer Lichtquelle bestrahlt und wenigstens ein zweidimensionales Projektionsbild mittels einer Kameraeinrichtung aufgenommen wird,
10 wobei zu dem Projektionsbild der Durchmesser des Gelenks mittels eines automatischen Kantendetektionsverfahrens bestimmt und anhand des Durchmessers der Umfang berechnet wird.

15 FIG 1



